अध्याय 7

कार्य, ऊर्जा, और सरल मशीनें

Redeveloped Edition | Class 9 Science | IESC Series

Original NCERT content reimagined with everyday life examples, creative AI-enhanced exercises, and interdisciplinary insights.

शुरुआत में एक आश्चर्य

सुबह 7:10 बज रहे हैं और आप पहले ही स्कूल बस के लिए पंद्रह मिनट लेट हैं। आप मेट्रो स्टेशन की चार मंज़िलों की सीढ़ियाँ दौड़ते हुए चढ़ते हैं, साँस फूल जाती है, और दरवाज़े बंद होते ही सीट पर गिर जाते हैं। उसी शाम, आप उसी स्टेशन की एस्केलेटर से नीचे उतरते हैं — मुश्किल से एक पैर उठाते हुए — और कुछ भी महसूस नहीं होता।

पहेली यह है: आपका शरीर दोनों बार उसी ऊँचाई से, उसी गुरुत्वाकर्षण के विरुद्ध चला। फिर एक बार आपको हाँफना पड़ा और दूसरी बार कुछ महसूस भी नहीं हुआ, ऐसा क्यों?

या उस जिम के बारे में सोचिए जो आपके बड़े कज़िन ने हाल में शुरू किया है। एक लेग-प्रेस मशीन उन्हें पैरों के हल्के धक्के से 80 किग्रा हिलाने देती है, जबकि सीधे फ़र्श से हाथों से 20 किग्रा उठाना भी बेहद मुश्किल लगता है। वज़न वही श्रेणी, मेहनत बिल्कुल अलग। मशीन असल में बल के साथ क्या कर रही है?

और भारत भर के गाँवों में, ऐसे कुओं पर जो अब भी रोज़मर्रा के कामों के लिए पानी देते हैं, कोई एक बाल्टी नीचे उतारता है और रस्सी वाले एक साधारण पहिये — घिरनी — का उपयोग करके हाथों-हाथ उसे ऊपर खींच लेता है। वे रस्सी को सीधे बग़ल में या ऊपर की ओर भी खींच सकते थे। फिर पहिये की झंझट क्यों?

ये सभी सवाल भौतिकी के तीन विचारों के भीतर रहते हैं, जिन्हें भौतिकी आश्चर्यजनक सुंदरता से आपस में जोड़ती है: कार्य, ऊर्जा, और शक्ति। रोज़मर्रा की हिंदी और अंग्रेज़ी में, हम इन शब्दों का ढीला-ढाला उपयोग करते हैं — 'यह बड़ा मुश्किल काम था,' 'मेरी सारी ऊर्जा ख़त्म हो गई,' 'वह बहुत शक्तिशाली है।' भौतिकी इन्हें सटीक, मापने योग्य अर्थ देती है, और एक बार आपके पास वे अर्थ हों, तो आप सीढ़ियों, लेग-प्रेस मशीन, और कुएँ की घिरनी — तीनों को उन्हीं मुट्ठी भर समीकरणों से समझा सकते हैं।

पिछले अध्यायों से आप बल और न्यूटन के नियमों का उपयोग करके गति को ट्रैक करना पहले से जानते हैं। लेकिन ऐसे बल जो हर पल बदलते हैं, या मोड़ों-घुमावों से होकर काम करते हैं, उन्हें हर क़दम पर गणितीय रूप से पीछा करना गड़बड़ हो सकता है। कार्य और ऊर्जा आपको एक शॉर्टकट देते हैं — मेहनत और गति के लिए एक तरह की हिसाब-प्रणाली जो आपको गड़बड़ बीच के हिस्से को छोड़कर सीधे जवाब पर पहुँचने देती है। और सरल मशीनें — घिरनी, ढलान, उत्तोलक (lever) — दिखाती हैं कि इंसानों ने हज़ारों साल इस हिसाब-प्रणाली को अपने फ़ायदे के लिए मोड़ने में लगाए हैं, कुओं भर पानी और क्रेनों भर स्टील को उससे कहीं कम मेहनत में उठाते हुए जितनी वरना लगती।

□ रुककर सोचिए

आगे पढ़ने से पहले, किसी पार्क में एक घुमावदार फिसलपट्टी (slide) की कल्पना कीजिए — खड़ी, नीली धातु की चुट (chute) वाली।

- फिसलपट्टी के नीचे बच्चे की गति क्या तय करती है — उसका द्रव्यमान, ऊँचाई, या फिसलपट्टी का आकार?

- अगर एक भारी बच्चा और एक हल्का बच्चा, दोनों एक ही ऊँचाई से छोड़े जाएँ, तो क्या वे नीचे एक ही गति से पहुँचेंगे?
- क्या इससे फ़र्क़ पड़ता है कि फिसलपट्टी सीधी है, घुमावदार है, या सर्पिल (spiral) है?

अपने पहले जवाबों को याद रखिए — खंड 7.4 के अंत तक आप उन्हें ठीक से साबित कर पाएँगे।

7.1 स्थिर बल द्वारा किया गया कार्य

रसोई के फ़र्श से 1 मी ऊँचे शेल्फ़ तक आटे की 5 किग्रा की बोरी उठाने की कल्पना कीजिए। आप उसके वज़न, mg, के बराबर एक ऊपर की ओर बल लगाते हैं, और बोरी उसी बल की दिशा में 1 मी ऊपर जाती है। रोज़मर्रा की भाषा में, आप कहेंगे कि आपने "कुछ काम किया"।

अब एक के बाद एक तीन एक-जैसी बोरियाँ उसी शेल्फ़ तक उठाइए — आप तीन गुना काम करते हैं। सभी तीनों को एक साथ (उसी 1 मी पर तीन गुना बल की ज़रूरत के साथ) उठाइए — फिर भी आप तीन गुना काम करते हैं। या एक ही बोरी को, 1 मी के बजाय 3 मी ऊँचे शेल्फ़ तक उठाइए — फिर, तीन गुना काम। पैटर्न पर ध्यान दीजिए: कार्य सीधे इस बात के साथ बदलता है कि आप कितना बल लगाते हैं और वस्तु उस बल की दिशा में कितनी दूर चलती है।

यह अवलोकन ही सटीक वैज्ञानिक परिभाषा बन जाता है:

> परिभाषा
>
> किसी स्थिर बल द्वारा किसी वस्तु पर किया गया कार्य = लगाया गया बल × बल की दिशा में विस्थापन
>
> $\boldsymbol{W = F \times s}$ (समी. *7.1 / 7.2)*

बल की SI इकाई न्यूटन (N) है, और विस्थापन की मीटर (m)। इसलिए कार्य की SI इकाई जूल (J) है, जहाँ

$$1\ \text{J} = 1\ \text{N} \times 1\ \text{m} = 1\ \text{kg m s}^{-2} \times 1\ \text{m} = 1\ \text{kg m}^2\ \text{s}^{-2}$$

यह परिभाषा दिशा पर ध्यान दिए बिना काम करती है — ऊर्ध्वाधर, क्षैतिज, या बीच में कहीं भी, जब तक F और s एक ही दिशा में हों।

> **रोज़मर्रा से जुड़ाव: आपके जिम की लेग-प्रेस भौतिकी को धोखा नहीं दे रही**
>
> जब आपके कज़िन की लेग-प्रेस मशीन उन्हें हल्के धक्के से 80 किग्रा का स्टैक हिलाने देती है, तो गुरुत्वाकर्षण के विरुद्ध किया गया कुल काम कम नहीं हुआ है — मशीन ने बस बल लगाने का तरीक़ा बदल दिया है (उत्तोलकों और एक फिसलती गाड़ी की व्यवस्था के ज़रिए), उसे एक लंबे स्ट्रोक में फैलाते हुए ताकि हर धक्का हल्का महसूस हो। खंड 7.6 दिखाएगा कि यह तरकीब ठीक-ठीक क्यों काम करती है। अभी के लिए, ध्यान दीजिए: कार्य कभी "धोखा" नहीं खाता, सिर्फ़ फिर से बाँटा जाता है।

7.1.1 कार्य कब शून्य होता है?

W = F × s से, कार्य तब शून्य होता है जब या तो बल शून्य हो, या कोई विस्थापन न हो — चाहे बल कितना भी बड़ा हो। अगर आप किसी बंद दुकान के शटर को धकेलें या किसी न हिलने वाली दीवार में अपना कंधा भिड़ाएँ, तो s = 0, इसलिए वैज्ञानिक रूप से, आप दीवार पर शून्य काम करते हैं — भले ही आपकी मांसपेशियाँ ऊर्जा जलाती हैं और बाद में आप थका हुआ महसूस करते हैं। वह थकान आपके मांसपेशी-रेशों के बार-बार

सिकुड़ने और आपके शरीर की आंतरिक रासायनिक ऊर्जा का उपयोग होने से आती है, न कि दीवार में किसी काम के स्थानांतरित होने से।

□ रोज़मर्रा से जुड़ाव : मेट्रो में अपना स्कूल बैग उठाए रखना

जब आप चलती मेट्रो ट्रेन में खड़े होकर अपना स्कूल बैग अपने बग़ल में स्थिर पकड़े रहते हैं, तो आप उस पर उसके वज़न के बराबर एक ऊपर की ओर बल लगाते हैं, लेकिन बैग ऊपर या नीचे नहीं चलता — इसलिए ऊर्ध्वाधर अर्थ में आप बैग पर शून्य काम करते हैं, भले ही ट्रेन आप दोनों को आगे ले जा रही हो। और अगर आप इसके बजाय चलते हुए बैग को पीठ पर लादें, तो जो बल आप लगाते हैं वह ऊपर की ओर है (उसका वज़न सहारा देने के लिए) जबकि विस्थापन क्षैतिज है — बल और विस्थापन लंबवत (perpendicular) हैं, इसलिए फिर से, वह सहारा देने वाला बल बैग पर शून्य काम करता है। (आप फिर भी थकते हैं — वही कारण जो दीवार वाले मामले में था।)

7.1.2 धनात्मक और ऋणात्मक कार्य

जब विस्थापन लगाए गए बल की उसी दिशा में हो, तो किया गया कार्य धनात्मक होता है। जब यह विपरीत दिशा में हो, तो किया गया कार्य ऋणात्मक होता है।

एक भरे हुए ठेले को आगे धकेलिए और वह आगे बढ़ता है — आप उस पर धनात्मक कार्य करते हैं। एक तेज़ थ्रो को सोखते समय विकेटकीपर के दस्ताने पीछे की ओर झटका खाते हैं — गेंद पर लगा बल गेंद की गति के विपरीत है, इसलिए विकेटकीपर गेंद पर ऋणात्मक कार्य करता है (और न्यूटन के तीसरे नियम से, गेंद विकेटकीपर के हाथों पर धनात्मक कार्य करती है)।

□ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से : विकेटकीपर का कैच

मूल पुस्तक संस्करण: एक गोलकीपर का हाथ 200 N के बल से फ़ुटबॉल रोकते हुए 15 सेमी पीछे जाता है।

रोज़मर्रा संस्करण: गली क्रिकेट के एक मैच में, एक विकेटकीपर के दस्ताने बाउंड्री से आई एक तेज़ थ्रो को सोखते हुए 12 सेमी पीछे जाते हैं, गेंद की गति के विपरीत 250 N बल लगाते हुए। गेंद को रोकते समय वह गेंद पर कितना काम करती है?

हल करते हुए: चूँकि उसके हाथ गेंद की गति के विपरीत चलते हैं, विस्थापन ऋणात्मक है: $s = -0.12$ मी

$W = F \times s = 250$ N × (-0.12 मी) = **−30 J**

ऋणात्मक चिह्न सार्थक है, कोई ग़लती नहीं — यह बताता है कि विकेटकीपर ने गेंद से 30 J गतिज ऊर्जा निकाल ली, उसे विराम में लाते हुए। गेंद द्वारा उसके दस्तानों पर किया गया कार्य, बदले में, धनात्मक है (+30 J), और यही वजह है कि बाद में उसके हाथ चुभते हैं।

□ रोज़मर्रा से जुड़ाव : बारबेल को स्थिर पकड़े रहना

एक वेटलिफ़्टर जो एक भरे बारबेल को सिर के ऊपर बिल्कुल स्थिर पकड़े हुए है, एक बड़ा ऊपर की ओर बल लगा रही है — लेकिन चूँकि बारबेल हिल नहीं रहा, $s = 0$, इसलिए वैज्ञानिक परिभाषा के अनुसार इस पल वह बारबेल पर शून्य काम करती है। उसकी बाहें, कंधे, और कोर अभी भी जैविक रूप से कड़ी मेहनत कर रहे हैं (मांसपेशी-रेशे लगातार सिकुड़ रहे हैं), लेकिन जब तक वह स्थिर रहता है,

बारबेल में कोई यांत्रिक कार्य स्थानांतरित नहीं हो रहा।

7.2 कार्य-ऊर्जा प्रमेय

जब किसी वस्तु पर धनात्मक कार्य किया जाता है, तो क्या उसे कुछ स्थायी मिलता है — आगे कार्य करने की क्षमता? एक गेंदबाज़ की सोचिए जो स्टंप्स की ओर क्रिकेट गेंद फेंकता है: चलती गेंद बेल्स गिरा सकती है। या खिड़की की चौखट पर संतुलित एक गमला, जो गिरने पर, जिस पर भी गिरे उसे डेंट कर सकता है। दोनों मामलों में, वस्तु ने किसी और चीज़ पर काम करने की क्षमता हासिल कर ली है — और ऐसी क्षमता वाली वस्तु को कहा जाता है कि उसके पास ऊर्जा है।

गेंद या गमले को यह क्षमता कहाँ से मिली? गेंद को यह गेंदबाज़ द्वारा उसे फेंकते समय किए गए काम से मिली; गमले को यह उसे चौखट पर उठाने में किए गए काम से मिली। इससे हमें कार्य-ऊर्जा प्रमेय मिलता है:

> **परिभाषा**
>
> किसी वस्तु पर किया गया कार्य = उसकी ऊर्जा में बदलाव (समी. 7.3)

यह कई वस्तुओं के एक तंत्र के लिए भी सच है, और तब भी जब शामिल बल स्थिर न हो — जो इसे हर बदलते बल के लिए न्यूटन के नियमों से क़दम-दर-क़दम काम करने से कहीं ज़्यादा शक्तिशाली बनाता है।

ऊर्जा की SI इकाई वही है जो कार्य की है — जूल (J)।

वैज्ञानिक से मिलें: जेम्स प्रेस्कॉट जूल (1818–1889)

कार्य और ऊर्जा दोनों की इकाई, जूल, का नाम अंग्रेज़ भौतिक विज्ञानी जेम्स प्रेस्कॉट जूल के नाम पर रखा गया है। इंग्लैंड के सैलफ़ोर्ड में अपने परिवार की शराब-भट्टी (brewery) से काम करते हुए, जूल ने सावधानीपूर्वक प्रयोग किए जिन्होंने दिखाया कि यांत्रिक कार्य और ऊष्मा एक ही अंतर्निहित राशि — ऊर्जा — के अदल-बदल किए जा सकने वाले रूप हैं। "ऊष्मा के यांत्रिक तुल्यांक" के उनके मापन ऊर्जा संरक्षण के नियम की स्थापना के केंद्र में थे, जो पूरे विज्ञान के सबसे दूरगामी सिद्धांतों में से एक है।

▯ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से: एक कैरम शॉट

मूल पुस्तक संस्करण: एक कैरम शॉट जहाँ स्ट्राइकर एक सफ़ेद कॉइन से टकराता है, जो फिर काले कॉइन से टकराकर उसे पॉकेट में डाल देता है — पहचानिए कि कौन काम करता है और हर टक्कर पर ऊर्जा कैसे बदलती है। (यह उदाहरण पहले से ही ख़ूबसूरती से भारतीय है — कैरम देश के सबसे लोकप्रिय बोर्ड खेलों में से एक है — इसलिए हम परिदृश्य वही रखते हैं और संख्याएँ जोड़ देते हैं।)

रोज़मर्रा संस्करण: एक खिलाड़ी स्ट्राइकर (द्रव्यमान 15 ग्राम) को 2.5 मी/से की गति से एक सफ़ेद कॉइन की ओर फ़्लिक करता है। टक्कर में, स्ट्राइकर धीमा होकर 1.0 मी/से हो जाता है और सफ़ेद कॉइन (द्रव्यमान 5 ग्राम) काले कॉइन की ओर छूट जाता है।

हल करते हुए — टक्कर से पहले और बाद में स्ट्राइकर की ऊर्जा:

पहले: $K = \frac{1}{2} \times 0.015\ \text{kg} \times (2.5\ \text{मी/से})^2 = \frac{1}{2} \times 0.015 \times 6.25 = 0.047\ \text{J}$

बाद में: $K = \frac{1}{2} \times 0.015\ \text{kg} \times (1.0\ \text{मी/से})^2 = \frac{1}{2} \times 0.015 \times 1 = 0.0075\ \text{J}$

टक्कर के दौरान स्ट्राइकर की गतिज ऊर्जा लगभग 0.039 J घट गई — यह ऊर्जा ग़ायब नहीं हुई, यह सफ़ेद कॉइन में स्थानांतरित हो गई, जिसके पास अब वह गतिज ऊर्जा है जो पहले नहीं थी। स्ट्राइकर ने सफ़ेद कॉइन पर धनात्मक काम किया (उसकी ऊर्जा बढ़ाते हुए) जबकि सफ़ेद कॉइन ने, न्यूटन के तीसरे नियम से, स्ट्राइकर पर ऋणात्मक काम किया (उसकी ऊर्जा घटाते हुए)। यही अदला-बदली तब दोहराती है जब सफ़ेद कॉइन काले कॉइन से टकराता है — ऊर्जा एक श्रृंखला में नीचे की ओर पास होती है, टक्कर-दर-टक्कर, बिल्कुल जैसा कार्य-ऊर्जा प्रमेय बताता है।

□ रोज़मर्रा से जुड़ाव: किराए की साइकिल पर चढ़ाई पर पैडल मारना

जब आप किसी किराए की सिटी साइकिल को ढलान पर पैडल मारते हैं, तो आपकी पैरों की मांसपेशियाँ आपके खाए भोजन से बदली गई ऊर्जा देती हैं — यह ऊर्जा कुछ हिस्सा गतिज ऊर्जा के रूप में दिखती है (आप और साइकिल तेज़ हो रहे हैं), कुछ हिस्सा गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा के रूप में (आप ऊँचा चढ़ रहे हैं), और कुछ हिस्सा चेन, टायर, और आपकी अपनी मांसपेशियों में घर्षण से खोई गर्मी के रूप में। आपकी सारी मेहनत उपयोगी गति में नहीं बदलती — यही वजह है कि ठंडी सुबह में भी चढ़ाई पर साइकिल चलाना आपको पसीने से तर कर देता है।

□ जिज्ञासा का धागा: ऊर्जा को यात्रा के लिए स्पर्श की ज़रूरत नहीं

यांत्रिक कार्य — किसी दूरी पर धक्का या खिंचाव — ऊर्जा के एक वस्तु से दूसरी में जाने के कई तरीक़ों में से सिर्फ़ एक है। ऊर्जा ऊष्मा के रूप में भी बहती है, स्पर्श पर गर्म वस्तु से ठंडी वस्तु की ओर (आपका हाथ ठंडे पानी के गिलास को गर्म करता है); यह बिना किसी स्पर्श के विकिरण के ज़रिए चलती है, जैसे सूर्य की ऊर्जा पृथ्वी तक पहुँचने के लिए 15 करोड़ किमी ख़ाली अंतरिक्ष पार करती है; और यह विद्युत परिपथों और ध्वनि तरंगों से होकर, यहाँ तक कि सूर्य को ख़ुद शक्ति देने वाली नाभिकीय अभिक्रियाओं में भी यात्रा करती है। कार्य तो बस ऊर्जा-स्थानांतरण प्रक्रियाओं के एक बहुत बड़े परिवार का यांत्रिक सदस्य है।

7.3 ऊर्जा के रूप

ऊर्जा कार्य करने की क्षमता है, लेकिन यह सिर्फ़ गति के रूप में नहीं दिखती। शाम को अपने घर के आसपास देखिए: विद्युत ऊर्जा एक बल्ब में बहती है और प्रकाश ऊर्जा बनकर निकलती है; वही विद्युत ऊर्जा वॉटर हीटर की कुंडली में बहती है और ऊष्मीय ऊर्जा बनकर आपके नहाने का पानी गर्म करती है; आपके रात के खाने में बंद रासायनिक ऊर्जा आपकी मांसपेशियों को यांत्रिक ऊर्जा के रूप में शक्ति देती है; और एक मोबाइल फ़ोन की रिंगटोन अपने छोटे स्पीकर के ज़रिए विद्युत संकेतों को ध्वनि ऊर्जा में बदलती है।

□ रोज़मर्रा से जुड़ाव: शाम को चार्ज करते समय ऊर्जा का सफ़र

ऊर्जा का रूप	इसका मतलब
यांत्रिक ऊर्जा	वस्तुओं की गति या स्थिति के कारण ऊर्जा
ऊष्मीय ऊर्जा	जो चीज़ों को गर्म या तप्त बनाती है

ऊर्जा का रूप	इसका मतलब
प्रकाश ऊर्जा	जो हमें देखने देती है
ध्वनि ऊर्जा	हवा या अन्य माध्यमों के कंपन से ले जाई गई ऊर्जा
विद्युत ऊर्जा	विद्युत आवेशों की स्थिति या गति से संबंधित ऊर्जा
नाभिकीय ऊर्जा	परमाणुओं के नाभिक के भीतर संचित ऊर्जा
रासायनिक ऊर्जा	ईंधन और भोजन में , परमाणुओं के बीच रासायनिक बंधनों में संचित ऊर्जा

रात में अपने फ़ोन को पावर बैंक से जोड़िए और आप ऊर्जा के रूपों की एक पूरी रिले -दौड़ देख रहे हैं : पावर बैंक की लिथियम -आयन सेल में संचित रासायनिक ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में बदलती है , जो केबल से होकर आपके फ़ोन की बैटरी में बहती है , वहाँ फिर से संचित रासायनिक ऊर्जा में बदलती हुई — अगली सुबह आपकी स्क्रीन पर प्रकाश ऊर्जा , आपके स्पीकर से ध्वनि ऊर्जा , और उसके कंपन मोटर में विद्युत /यांत्रिक ऊर्जा बनने के लिए तैयार। रास्ते में कुछ भी नया नहीं बनता ; ऊर्जा सिर्फ़ अपना वेश बदलती है।

गतिविधि — नए सिरे से : आपका सुबह का ऊर्जा -जाल

मूल पुस्तक संस्करण : अंतर्विषयक ऊर्जा -रूपांतरणों की एक सामान्य चर्चा।

रोज़मर्रा संस्करण : अपनी सुबह की दिनचर्या से एक उपकरण चुनिए — एक इंडक्शन चूल्हा , एक सोलर वॉटर हीटर , एक इलेक्ट्रिक केतली , या एक ई -बाइक चार्जर। उसकी ऊर्जा -श्रृंखला को स्रोत से अंतिम उपयोग तक ट्रेस कीजिए , हर रूपांतरण लिखते हुए (उदाहरण के लिए : सौर विकिरण → पानी में ऊष्मीय ऊर्जा → नहाने के लिए उपयोगी गर्म पानी)। श्रृंखला में कम से कम एक बिंदु पहचानिए जहाँ ऊर्जा अवांछित ऊष्मा के रूप में "खो" जाती है।

इन सभी रूपों में से , यह अध्याय यांत्रिक ऊर्जा पर बारीकी से ध्यान देता है — वह रूप जो उन बलों और गति से सबसे सीधे जुड़ा है जिनका आपने पहले ही अध्ययन कर लिया है।

7.4 यांत्रिक ऊर्जा

यांत्रिक ऊर्जा वह ऊर्जा है जो किसी वस्तु के पास उसकी गति या उसकी स्थिति के कारण होती है। आइए कार्य -ऊर्जा प्रमेय को अपना औज़ार बनाते हुए , बारी -बारी से दोनों को मात्रात्मक रूप देते हैं।

7.4.1 गतिज ऊर्जा

किसी वस्तु के पास उसके गतिशील होने के कारण जो ऊर्जा होती है उसे गतिज ऊर्जा **(kinetic energy)** कहते हैं। एक लुढ़कती गेंद , एक चलती साइकिल , एक तेज़ होता ई -स्कूटर — सबके पास गतिज ऊर्जा है। विराम में मौजूद किसी वस्तु की गतिज ऊर्जा शून्य मानी जाती है।

द्रव्यमान m की एक वस्तु पर विचार कीजिए , जिसे किसी स्थिर बल F द्वारा विस्थापन s पर प्रारंभिक वेग u से अंतिम वेग v तक त्वरित किया जाता है। $v^2 = u^2 + 2as$ का

उपयोग करते हुए, हमें $s = (v^2 - u^2)/(2a)$ मिलता है। चूँकि $W = F \times s = ma \times s$ (न्यूटन के दूसरे नियम, $F = ma$ का उपयोग करते हुए):

$$W = ma \times (v^2 - u^2)/(2a) = \tfrac{1}{2} m(v^2 - u^2) \quad (\text{समी. } 7.5)$$

कार्य-ऊर्जा प्रमेय से, यह कार्य वस्तु की ऊर्जा में बदलाव के बराबर है। अगर वस्तु विराम से शुरू हुई ($u = 0$), तो यह बदलाव उसकी अंतिम गतिज ऊर्जा है। इसलिए, वेग v से चलती द्रव्यमान m की वस्तु के लिए:

> *□□□□□□□*
>
> $K = \tfrac{1}{2} mv^2$ *(□□□. 7.6)*

गतिज ऊर्जा की कोई दिशा नहीं होती (इसकी इकाई जूल है, कार्य जैसी ही)। अगर किसी वस्तु पर धनात्मक कार्य किया जाए, तो उसकी चाल और K बढ़ते हैं; अगर ऋणात्मक कार्य किया जाए, तो दोनों घटते हैं; अगर कोई शुद्ध कार्य न हो, तो K स्थिर रहती है।

□ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से: अपने ई-स्कूटर की गति दोगुनी करना

मूल पुस्तक संस्करण: अगर किसी वाहन का वेग दोगुना हो जाए, तो उसकी गतिज ऊर्जा का क्या होता है?

रोज़मर्रा संस्करण: आपकी दोस्त का किराए का ई-स्कूटर गति v से चलता है, गतिज ऊर्जा $\tfrac{1}{2}mv^2$ के साथ। अगर वह थ्रॉटल और घुमाकर अपनी गति दोगुनी करके $2v$ कर दे, तो गतिज ऊर्जा का क्या होगा?

$$K_{\text{नई}} = \tfrac{1}{2} m(2v)^2 = \tfrac{1}{2} m \times 4v^2 = 4 \times (\tfrac{1}{2} mv^2) = 4 \times K_{\text{मूल}}$$

गति दोगुनी करने से गतिज ऊर्जा चार गुनी होती है — दोगुनी नहीं। यही ठीक वजह है कि भारत में सड़क-सुरक्षा अभियान स्कूलों के पास सख़्त गति-सीमा पर ज़ोर देते हैं: 40 किमी/घंटा पर टकराने वाले दुपहिया वाहन को लगभग उसी ब्रेकिंग दूरी में 20 किमी/घंटा पर टकराने वाले वाहन से चार गुना ऊर्जा नष्ट करनी पड़ती है — यह एक बड़ी वजह है कि तेज़ गति की दुर्घटनाएँ सिर्फ़ "थोड़ी ज़्यादा बुरी" नहीं, बल्कि कहीं ज़्यादा ख़तरनाक होती हैं।

□ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से: एक तेज़ यॉर्कर की गतिज ऊर्जा

मूल पुस्तक संस्करण: एक भारतीय क्रिकेटर 0.2 किग्रा की गेंद 154.8 किमी/घंटा से फेंकता है — डिलीवरी के पल उसकी गतिज ऊर्जा पता कीजिए।

रोज़मर्रा संस्करण (मूल के क़रीब रखा गया — यह पहले से ही भारतीय क्रिकेट में जड़ा हुआ है): भारत के सबसे तेज़ गेंदबाज़ लगभग 150 किमी/घंटा की डिलीवरी फेंक सकते हैं। गेंद का द्रव्यमान 0.2 किग्रा और गति 154.8 किमी/घंटा मानिए।

गति बदलिए: 154.8 किमी/घंटा $= 154.8 \times (1000/3600)$ मी/से ≈ 43 मी/से

$K = \tfrac{1}{2} mv^2 = \tfrac{1}{2} \times 0.2\ \text{kg} \times (43\ \text{मी/से})^2 = \tfrac{1}{2} \times 0.2 \times 1849 =$ **184.9 J**

यह इतनी ऊर्जा है जो 1.8 किग्रा की किसी वस्तु को लगभग 10 मी सीधा ऊपर उठा सके — यह सब हाईवे के ज़्यादातर ट्रैफ़िक से तेज़ चल रही 160 ग्राम की चमड़े की गेंद में समाया हुआ है।

□ रोज़मर्रा से जुड़ाव : INS विक्रांत के अरेस्टर तार

भारतीय नौसेना का विमानवाहक पोत INS विक्रांत ठीक इसी भौतिकी का उपयोग करके लड़ाकू जेट को कुछ फ़ुटबॉल मैदानों की लंबाई जितने रनवे पर उतारता है। विमान का एक टेल-हुक डेक पर फैले एक मोटे स्टील तार को पकड़ता है; तार का तनाव विमान के छोटे लैंडिंग-रोल में एक भारी पिछड़ता बल लगाता है, जो उसकी बहुत बड़ी गतिज ऊर्जा को कुछ ही सेकंड में लगभग शून्य में बदल देता है — वही सिद्धांत जो ज़मीन पर बने आपातकालीन ट्रक-रैंप और दुनिया के हर विमानवाहक पोत पर इस्तेमाल होता है।

□ और आगे बढ़ें — हल किया गया उदाहरण : डेक पर एक जेट रोकना

15,000 किग्रा द्रव्यमान का एक जेट विमान एक विमानवाहक डेक पर उतरता है। उसके टेल हुक को एक अरेस्टर तार पकड़ता है, जो 367,500 N का स्थिर पिछड़ता बल लगाता है, जेट को 100 मी के भीतर रोकते हुए। उसकी लैंडिंग गति क्या थी?

प्रारंभिक KE = $\frac{1}{2} \times 15000\ \text{kg} \times v^2$। अंतिम KE = 0 J।

तार द्वारा किया गया कार्य = $F \times s = 367500\ \text{N} \times (-100$ मी$) = -36{,}750{,}000\ \text{J}$ (ऋणात्मक : बल विस्थापन के विपरीत है)

कार्य-ऊर्जा प्रमेय से : KE में बदलाव = तार द्वारा किया गया कार्य

$0 - \frac{1}{2} \times 15000 \times v^2 = -36{,}750{,}000\ \text{J} \Longrightarrow v^2 = (36{,}750{,}000 \times 2)/15000 = 4900$ मी^{2}/से^{2}

$v = 70$ मी/से = 252 किमी/घंटा — तार द्वारा पकड़े जाने से ठीक पहले जेट की गति।

7.4.2 स्थितिज ऊर्जा

क्या आपने कभी गुलेल चलाई है? खिंचे हुए रबर बैंड को पीछे खींचकर छोड़ने से पत्थर आगे की ओर छूटता है — बैंड पत्थर पर एक बल लगाता है, उसे गतिज ऊर्जा देते हुए। लेकिन वह ऊर्जा कहाँ से आई? वह ख़ुद खिंचे हुए बैंड में संचित थी, आपके द्वारा उसे पहले विकृत (deform) करने में किए गए काम से।

यही विचार धनुर्धर द्वारा छोड़े गए धनुष, या दबाकर छोड़ी गई स्प्रिंग पर भी लागू होता है। किसी वस्तु के विकृत आकार या विन्यास के कारण संचित ऊर्जा स्थितिज ऊर्जा का एक प्रकार है। किसी तंत्र में वस्तुओं की सापेक्ष स्थिति बदलकर भी ऊर्जा संचित की जा सकती है : दो मज़बूत चुंबकों के एक-जैसे ध्रुवों को अलग करके छोड़िए, और वे एक-दूसरे की ओर या दूर छूटते हैं, अपने पहले के अलगाव की संचित ऊर्जा से गतिज ऊर्जा पाते हुए। यही सच है पृथ्वी की सतह से ऊपर उठाई गई किसी गेंद के लिए — पृथ्वी-गेंद तंत्र उनके अलगाव के कारण ऊर्जा संचित करता है, जो गेंद के गिरने पर गतिज ऊर्जा के रूप में मुक्त होती है।

> परिभाषा
>
> स्थितिज ऊर्जा वह ऊर्जा है जो किसी वस्तु में उसकी विकृति के कारण, या वस्तुओं के किसी तंत्र में उनकी सापेक्ष स्थितियों के कारण संचित होती है।

गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा

चूँकि पृथ्वी अपनी सतह के पास किसी भी वस्तु से कहीं ज़्यादा द्रव्यमान वाली है, इसलिए पृथ्वी-वस्तु तंत्र की लगभग सारी "संचित ऊर्जा" को परंपरागत रूप से

अकेले वस्तु का श्रेय दिया जाता है, और इसे उसकी गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा **(gravitational potential energy)** कहा जाता है।

□ गतिविधि — नए सिरे से : नारियल और रेत

मूल पुस्तक संस्करण **:** अलग-अलग ऊँचाइयों से रेत से भरे पात्र में एक भारी गेंद गिराइए और बने गड्ढों की गहराई की तुलना कीजिए।

रोज़मर्रा संस्करण **:** भारत के तटीय राज्य नारियल के बागों से भरे हैं। एक पके नारियल (द्रव्यमान 1.5 किग्रा) की कल्पना कीजिए जो 4 मी की ऊँचाई से गिरता है, और दूसरा जो 10 मी से गिरता है, दोनों गीली समुद्र-तट की रेत पर गिरते हुए। कौन-सा गहरा गड्ढा बनाता है?

ज़्यादा ऊँचाई से आया नारियल वहाँ पहुँचने के लिए गुरुत्वाकर्षण के विरुद्ध ज़्यादा काम कर चुका है, इसलिए वह ज़्यादा स्थितिज ऊर्जा लेकर चलता है — और इसलिए ज़मीन पर पहुँचने तक ज़्यादा गतिज ऊर्जा। वह अतिरिक्त ऊर्जा ज़्यादा रेत हटाने में जाती है, इसलिए 10 मी वाला गिरना 4 मी वाले गिरने से साफ़ तौर पर गहरा गड्ढा बनाता है।

गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा के लिए एक व्यंजक खोजने के लिए, ज़मीन पर द्रव्यमान m की एक वस्तु पर विचार कीजिए, जहाँ हम उसकी स्थितिज ऊर्जा को शून्य परिभाषित करते हैं। उसे धीरे-धीरे ऊँचाई h तक उठाने के लिए, हम mg के बराबर एक बल लगाते हैं। किया गया कार्य है:

$$W = \text{बल} \times \text{विस्थापन} = mg \times h = mgh \quad (\text{समी. } 7.7)$$

कार्य-ऊर्जा प्रमेय से, यह कार्य ऊँचाई h पर वस्तु की स्थितिज ऊर्जा U बन जाता है:

> *□□□□□□□□*
>
> $$U = mgh \quad (\text{□□□. } 7.8)$$

इसकी इकाई, ऊर्जा के हर रूप की तरह, जूल (J) है। (नोट : यह सरल सूत्र सिर्फ़ पृथ्वी की सतह के पास काम करता है, जहाँ g लगभग स्थिर रहता है।)

□ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से : एक जश्न भरा थ्रो

मूल पुस्तक संस्करण **:** एक कैच लेने के बाद जश्न में एक फ़ील्डर 200 ग्राम की क्रिकेट गेंद हवा में 10 मी ऊपर फेंकता है — अधिकतम ऊँचाई पर उसकी स्थितिज ऊर्जा पता कीजिए (g = 10 मी/से²)।

$U = mgh = 0.2\ \text{kg} \times 10\ \text{मी/से}^2 \times 10\ \text{मी}$ = **20 J**

7.4.3 यांत्रिक ऊर्जा का संरक्षण

किसी वस्तु की गतिज और स्थितिज ऊर्जा के योग को उसकी यांत्रिक ऊर्जा **(mechanical energy)** कहते हैं। ऊँचाई h से गिराई गई द्रव्यमान m की एक वस्तु पर विचार कीजिए (प्रारंभिक वेग शून्य)। शीर्ष पर, उसकी सारी यांत्रिक ऊर्जा स्थितिज है: $mgh + 0 = mgh$। जैसे-जैसे वह समय t तक गिरती है, $v = gt$ और $h' = h - \frac{1}{2}gt^2$ का उपयोग करते हुए, उस पल उसकी स्थितिज ऊर्जा $mgh - \frac{1}{2}mg^2t^2$ है, जबकि उसकी गतिज ऊर्जा $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mg^2t^2$ है। इन्हें जोड़ें तो t-निर्भर पद बिल्कुल रद्द हो जाते हैं:

यांत्रिक ऊर्जा $= (mgh - \frac{1}{2}mg^2t^2) + \frac{1}{2}mg^2t^2 = mgh$ — पूरे गिरने के दौरान अपरिवर्तित।

यही है यांत्रिक ऊर्जा का संरक्षण: जब कोई वस्तु सिर्फ़ गुरुत्वाकर्षण के तहत चलती है (कोई घर्षण या वायु प्रतिरोध नहीं), तो उसकी यांत्रिक ऊर्जा स्थिर रहती है — स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में बदलती है (या वापस), बिना किसी शुद्ध हानि के।

▯ गतिविधि — नए सिरे से: पार्क का झूला

मूल पुस्तक संस्करण: एक सरल लोलक (pendulum) लगाइए, उसके पीछे की दीवार पर उसकी विराम-स्थिति की ऊँचाई चिह्नित कीजिए, और गोलक (bob) को एक तरफ़ से छोड़कर देखिए कि वह दूसरी तरफ़ लगभग उसी ऊँचाई तक कैसे उठता है।

रोज़मर्रा संस्करण: अगली बार जब आप पार्क में हों, ध्यान से देखिए जब कोई दोस्त झूले पर झूल रहा हो। सीट की ऊँचाई (मानसिक रूप से, या फ़ोन वीडियो से) चिह्नित कीजिए जब वह एक तरफ़ से छोड़ी जाती है।

किसी भी तरफ़ के सबसे ऊँचे बिंदु पर, झूला पल भर के लिए स्थिर होता है — सारी स्थितिज ऊर्जा, शून्य गतिज ऊर्जा। चाप के सबसे नीचे बिंदु पर, यह सबसे तेज़ चलता है — सारी गतिज ऊर्जा, और (हमारे संदर्भ से) शून्य स्थितिज ऊर्जा। चूँकि यांत्रिक ऊर्जा संरक्षित है, झूले को दूसरी तरफ़ लगभग बिल्कुल उतनी ही ऊँचाई तक उठना चाहिए जितनी से वह शुरू हुआ — "लगभग," क्योंकि झूले के धुरी-बिंदु पर घर्षण और वायु प्रतिरोध हर बार चुपचाप थोड़ी ऊर्जा निकाल लेते हैं, यही वजह है कि अगर कोई इसे धकेलता न रहे तो झूला आख़िरकार धीमा होकर रुक जाता है।

▯ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से: वॉटर-पार्क की फिसलपट्टी

मूल पुस्तक संस्करण: ऊँचाई h की फिसलपट्टी के नीचे बच्चे की गति क्या होगी? (यह ठीक वही पहेली है जो इस अध्याय की शुरुआती "रुककर सोचिए" बॉक्स में पूछी गई थी।)

रोज़मर्रा संस्करण: वंडरला जैसे किसी वॉटर पार्क में, एक बच्ची विराम से शुरू होकर ऊँचाई h की एक चुट से नीचे फिसलती है। घर्षण को नज़रअंदाज़ करते हुए, नीचे उसकी गति क्या है?

शीर्ष पर स्थितिज ऊर्जा $= mgh$। नीचे गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}mv^2$।

यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण से: $\frac{1}{2}mv^2 = mgh \implies \mathbf{v = \sqrt{2gh}}$

बच्ची का द्रव्यमान पूरी तरह रद्द हो जाता है — और फिसलपट्टी का सटीक आकार भी (सीधी, घुमावदार, या सर्पिल), जब तक घर्षण नगण्य हो! एक ही ऊँचाई से छोड़े गए एक भारी बच्चे और एक हल्के बच्चे नीचे एक ही गति से पहुँचते हैं। सिर्फ़ ऊँचाई मायने रखती है।

▯ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से: पहाड़ों में एक फिसलते ट्रक का रैंप

मूल पुस्तक संस्करण: एक हाईवे पर ट्रक के ब्रेक फ़ेल हो जाते हैं; उसे 30° झुकी एक रेत/बजरी की बचाव-ढलान पर मोड़ा जाता है, जो उसे रोक देती है — न्यूनतम ढलान-लंबाई पता कीजिए।

रोज़मर्रा संस्करण (मूल के क़रीब रखा गया — ये रैंप वाक़ई हिमाचल प्रदेश

और उत्तराखंड के पहाड़ी हाईवे पर मौजूद हैं): 72 किमी/घंटा (= 20 मी/से) की गति से चल रहे 10,000 किग्रा के ट्रक के ब्रेक पहाड़ी ढलान पर फ़ेल हो जाते हैं। चालक उसे 30° की एक बचाव-ढलान पर मोड़ देता है, जहाँ रेत ट्रक की गति के विरुद्ध 50,000 N का स्थिर बल लगाती है जब तक वह रुक न जाए। (संकेत: 30° की ढलान पर, ट्रक हर 2 मी ढलान पर चलने पर 1 मी ऊर्ध्वाधर चढ़ता है।)

प्रारंभिक KE = ½ × 10000 kg × (20 मी/से)^2 = 2,000,000 J। प्रारंभिक PE = 0।

मान लीजिए d = ढलान पर तय की गई दूरी। बढ़ी हुई ऊँचाई = d/2।

अंतिम PE = mg × (d/2) = 10000 × 10 × (d/2) = 50,000 N × d। अंतिम KE = 0।

रेत द्वारा ट्रक पर किया गया कार्य = −50,000 N × d = कुल ऊर्जा में बदलाव = (50,000 N × d) − 2,000,000 J

2,000,000 J = 100,000 N × d ⟹ **d = 20** मी

इस ट्रक को सुरक्षित रूप से रोकने के लिए बचाव-ढलान कम से कम 20 मी लंबी होनी चाहिए।

जिज्ञासा का धागा: कुछ भी हमेशा के लिए क्यों नहीं चलता

क्या एक बार घुमाया गया पहिया हमेशा के लिए घूमता रह सकता है और किसी शहर को शक्ति दे सकता है — एक सच्ची चिरगति मशीन (perpetual motion machine)? इतिहास असफल कोशिशों से भरा पड़ा है, और दिलचस्प बात यह है कि सबसे पुराने दर्ज डिज़ाइन विचारों में से एक भारत से आता है: 12वीं सदी के गणितज्ञ-खगोलशास्त्री भास्कराचार्य (भास्कर द्वितीय) ने, अपने ग्रंथ सिद्धांत शिरोमणि में, घुमावदार, पारे से भरी तीलियों वाले एक पहिये का वर्णन किया, जिसके बारे में उन्होंने सुझाव दिया कि वह अपने ही बदलते वज़न से घूमता रहेगा। इस — या तब से प्रस्तावित किसी भी चिरगति मशीन — का कोई संस्करण कभी वाक़ई काम नहीं आया, क्योंकि हर असली मशीन हर चक्कर में घर्षण और वायु प्रतिरोध से थोड़ी ऊर्जा खोती है। ऊर्जा संरक्षण हमें बताता है क्यों: ऊर्जा रूप बदल सकती है, लेकिन एक बंद तंत्र कभी शून्य से इसे और ज़्यादा नहीं बना सकता।

7.5 शक्ति

सीढ़ियों की एक उड़ान पर अपना स्कूल बैग ले जाना बहुत अलग महसूस होता है जब आप 20 सेकंड में दौड़ते हुए चढ़ते हैं बनाम 2 मिनट में धीरे-धीरे चढ़ना — फिर भी दोनों मामलों में किया गया काम (गुरुत्वाकर्षण के विरुद्ध, उसी ऊँचाई पर) बिल्कुल एक जैसा है। जो अलग है वह यह है कि वह काम कितनी तेज़ी से किया गया, और भौतिकी इस दर को शक्ति **(power)** कहती है।

> *[illegible]*
>
> *[illegible] = [illegible] ÷ [illegible]*
>
> ***P = W / t*** *([illegible]. 7.11)*

शक्ति की SI इकाई वाट (W) है: 1 W = 1 J/[illegible]। उसी समय में ज़्यादा काम करना, या कम समय में उतना ही काम करना, दोनों को ज़्यादा शक्ति चाहिए।

वैज्ञानिक से मिलें: जेम्स वाट (1736–1819)

वाट का नाम स्कॉटिश इंजीनियर जेम्स वाट के नाम पर रखा गया है, जिनके 18 वीं सदी में भाप इंजन में सुधारों ने उसे कहीं ज़्यादा कुशल बना दिया, औद्योगिक क्रांति की मशीनों को शक्ति देते हुए। इंजनों के शुरुआती दिनों में, उनकी उत्पादन शक्ति की तुलना गाड़ियों और चक्की-पहियों को खींचने वाले असली घोड़ों से की जाती थी — यहीं से आज भी इस्तेमाल होने वाली इकाई अश्वशक्ति (horsepower, hp) आती है। 1 hp = 746 W, और आप इसे आज भी कार और मोटरबाइक इंजन और पानी के पंपों के लिए इस्तेमाल होते देखेंगे।

□ रोज़मर्रा से जुड़ाव: आपकी छत पर '1 HP मोटर'

कई भारतीय अपार्टमेंट की छतों पर पानी के पंप के पास जाइए और आपको '1 HP' या '0.5 HP' लिखी एक नेमप्लेट दिखेगी — यह सचमुच मोटर की शक्ति-रेटिंग अश्वशक्ति में है, जो वाट के लगभग ढाई सदी बाद भी आज रोज़मर्रा के उपयोग में है। एक ज़्यादा शक्तिशाली पंप उसी टंकी भर पानी को कम समय में छत की टंकी तक ले जाता है, बिल्कुल जैसा समी. 7.11 बताती है। आज भारत में बिकने वाले ई-बाइक और ई-स्कूटर आमतौर पर इसके बजाय वाट में रेट किए जाते हैं — 250 W, 1000 W, 3000 W — वही भौतिक राशि, बस एक अलग (और अब ज़्यादा आम) इकाई में।

□ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से: एक वेटलिफ़्टर की शक्ति-उत्पादन

मूल पुस्तक संस्करण: एक वेटलिफ़्टर 5 सेकंड में 75 किग्रा को 2 मी उठाता है — ज़रूरी शक्ति पता कीजिए।

किया गया कार्य = mgh = 75 kg × 10 मी/से^{2} × 2 मी = 1500 J

शक्ति = 1500 J / 5 से = **300 W**

□ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से: एक ई-स्कूटर को त्वरित करना

मूल पुस्तक संस्करण: एक 1000 किग्रा की कार विराम से 72 किमी/घंटा तक 10 सेकंड में त्वरित होती है — इंजन की शक्ति पता कीजिए।

रोज़मर्रा संस्करण: कार की जगह लास्ट-माइल डिलीवरी के लिए इस्तेमाल होने वाली एक कॉम्पैक्ट इलेक्ट्रिक हैचबैक लीजिए, कुल द्रव्यमान 1000 किग्रा, जो विराम से 72 किमी/घंटा = 20 मी/से तक 10 सेकंड में त्वरित होती है।

मोटर द्वारा किया गया कार्य = अंतिम KE − प्रारंभिक KE = ½ × 1000 kg × (20 मी/से)^2 − 0 = 200,000 J

शक्ति = 200,000 J / 10 से = **20,000 W = 20 kW (≈ 27 hp)**

7.6 सरल मशीनें

हमें अक्सर गुरुत्वाकर्षण या अन्य बलों के विरुद्ध काम करना पड़ता है — बोरियाँ उठाना, पानी खींचना, फ़र्नीचर हिलाना। किसी काम के लिए ज़रूरी कुल काम को कोई भी उपकरण घटा नहीं सकता। लेकिन हमें लगाने वाले बल का परिमाण या दिशा

बदलकर इसे आसान महसूस कराया जा सकता है। ऐसा करने वाले उपकरणों को सरल मशीनें **(simple machines)** कहते हैं।

हम मशीन पर जो बल लगाते हैं वह प्रयास **(effort)** है ; जिस बल को हमें पार पाना है वह भार **(load)** है। हम परिभाषित करते हैं :

> *□□□□□□□*
>
> *□□□□□□□□ □□□ = □□□ ÷ □□□□□□*
>
> *□□□□□□□□ □□□* ***= load / effort*** *(□□□. 7.12)*

हम तीन सरल मशीनों का अध्ययन करेंगे — घिरनी , आनत तल (inclined plane), और उत्तोलक (lever)।

7.6.1 घिरनी (Pulley)

घिरनी एक खाँचे वाला पहिया है जो रस्सी को दिशा देता है। एक स्थिर घिरनी ज़रूरी बल को कम नहीं करती — यह सिर्फ़ उसकी दिशा बदलती है , जिससे सीधे ऊपर की ओर बल लगाकर भार उठाने से नीचे की ओर खींचना आसान हो जाता है। चूँकि प्रयास परिमाण में भार के बराबर है , एक स्थिर घिरनी का यांत्रिक लाभ ठीक 1 होता है।

> □ रोज़मर्रा से जुड़ाव : गाँव के कुएँ की घिरनी (और जिम की केबल मशीन)
>
> कई भारतीय गाँवों में , कुएँ अब भी ठीक इसी व्यवस्था का उपयोग करते हैं — ऊपर लगा एक पहिया जिसके ऊपर से रस्सी गुज़रती है , ताकि पानी की बाल्टी ऊपर खींचने का मतलब हो सीधे ऊपर उठाने के बजाय रस्सी को नीचे खींचना। यह अक्सर यांत्रिक रूप से आसान नहीं होता (यांत्रिक लाभ 1!), लेकिन नीचे की ओर खींचना आपको अपने शरीर के वज़न का उपयोग करने देता है और कुएँ के किनारे पर झुकने के बजाय ज़मीनी स्तर पर आराम से खड़े रहने देता है — यह सुविधा है , बल में कमी नहीं।
>
> एक आधुनिक जिम की लैट -पुलडाउन या केबल -रो मशीन बिल्कुल इसी सिद्धांत पर काम करती है , बस ज़्यादा घिरनियों और समायोज्य वज़न -स्टैक के साथ — कई जिम मशीनें असल में चल घिरनी (movable pulley) प्रणालियों का उपयोग करती हैं (यांत्रिक लाभ 1 से ज़्यादा) ताकि आप कम लगाए गए बल से ज़्यादा प्रभावी वज़न उठा सकें , जो ठीक वही है जो नीचे का बॉक्स बताता है।

> □ और आगे बढ़ें : चल घिरनियाँ और क्रेनें
>
> एक चल घिरनी — जहाँ भार किसी स्थिर बिंदु के बजाय ख़ुद घिरनी से लटकता है — 1 से ज़्यादा यांत्रिक लाभ दे सकती है , जिससे एक कहीं छोटा प्रयास कहीं भारी भार उठा सकता है , लेकिन इसकी क़ीमत यह है कि रस्सी को कहीं ज़्यादा दूरी तक खींचना पड़ता है। एलिवेटर , भारतीय निर्माण स्थलों पर टावर क्रेनें , और गगनचुंबी इमारतों पर खिड़की -सफ़ाई की टोकरियाँ — सब कई चल और स्थिर घिरनियों की एक साथ काम करती प्रणालियों पर निर्भर करते हैं।

7.6.2 आनत तल (Inclined Plane)

किसी भारी बक्से को सीधे किसी प्लेटफ़ॉर्म पर उठाने के लिए उसके पूरे वज़न के बराबर ऊपर की ओर बल चाहिए। उसी बक्से को इसके बजाय एक चिकनी ढलान पर धकेलने के लिए कम बल चाहिए — लेकिन एक लंबी दूरी पर।

> □ गतिविधि — नए सिरे से : एक डिलीवरी ट्रॉली को ढलान पर चढ़ाना

मूल पुस्तक संस्करण : स्प्रिंग तराज़ू का उपयोग करके एक खिलौना गाड़ी को झुके हुए गत्ते के तख़्ते पर खींचिए, और अलग-अलग ढलान कोणों पर ज़रूरी बल की तुलना कीजिए।

रोज़मर्रा संस्करण : एक डिलीवरी वर्कर की कल्पना कीजिए जो ट्रक में सीधे बक्से उठाने के बजाय एक पोर्टेबल एल्युमिनियम रैंप का उपयोग करके पार्सल लोड कर रहा है — बिल्कुल वैसा रैंप जो आप कूरियर डिपो के बाहर, और यहाँ तक कि व्हीलचेयर उपयोगकर्ताओं की मदद के लिए मेट्रो स्टेशनों पर भी देखेंगे। एक खिलौना गाड़ी, एक स्प्रिंग तराज़ू, और एक तय ऊँचाई के स्टूल के सहारे एक गत्ते के रैंप का उपयोग करते हुए, वह बल मापिए जो चाहिए (a) गाड़ी को सीधे ऊपर उठाने के लिए, और (b) उसे रैंप पर खींचने के लिए। फिर रैंप को कम खड़ा (लंबा, कम ढलान वाला) बनाइए और फिर से मापिए।

आप पाएँगे कि रैंप कम खड़ी होने पर ज़रूरी बल घटता है — लेकिन उसी ऊँचाई तक पहुँचने के लिए आपको गाड़ी को उसी अनुपात में ज़्यादा दूरी तक खींचना पड़ता है। किया गया काम पूरे समय एक जैसा रहता है।

मान लीजिए m वस्तु का द्रव्यमान है (इसलिए mg भार है), F′ उसे ऊँचाई h तक लंबाई L की एक चिकनी ढलान पर धकेलने के लिए ज़रूरी प्रयास है। स्थिर गति से चलते हुए (घर्षण नज़रअंदाज़ करते हुए), कार्य-ऊर्जा प्रमेय हमें देता है:

कुल किया गया कार्य = $F' \times L$ = हासिल की गई स्थितिज ऊर्जा = mgh, इसलिए $mg/F' = L/h$

> *□□□□□□□□*
>
> *□□□ □□ □□ □□□□□□□□ □□□ = □□□ / □□□□□□ = $mg/F' = L/h$ (□□□. 7.13)*

चूँकि $L > h$, यांत्रिक लाभ हमेशा 1 से ज़्यादा होता है — और रैंप को लंबा व कम खड़ा बनाने से यह और बढ़ता है।

□ रोज़मर्रा से जुड़ाव : घाट की सड़कें ज़िगज़ैग क्यों होती हैं

हिमालय की तलहटी या पश्चिमी घाट में चढ़ने वाले हाईवे लगभग कभी पहाड़ी पर सीधे ऊपर नहीं जाते — वे लंबे, हल्के हेयरपिन मोड़ों में आगे-पीछे घूमते हैं। एक लंबी, कम खड़ी सड़क (एक बहुत लंबा, हल्का आनत तल) उसी ऊँचाई तक पहुँचने के लिए एक छोटी, खड़ी सड़क से कहीं कम बल चाहती है — और वाहन के इंजन व ब्रेक पर कम दबाव डालती है — बिल्कुल जैसा समी. 7.13 बताती है। यही वजह है कि व्हीलचेयर रैंप हमेशा छोटा और खड़ा बनाने के बजाय लंबा और धीरे-धीरे ढलता बनाया जाता है।

□ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से : एक मेट्रो-स्टेशन प्रवेश रैंप

मूल पुस्तक संस्करण : कोई व्यक्ति 30 सेमी की सीढ़ी पर एक वस्तु उठाने के लिए एक आनत रैंप का उपयोग करता है; रैंप 40 सेमी चौड़ा है (यानी उसका क्षैतिज आधार 40 सेमी है) — उसका यांत्रिक लाभ पता कीजिए।

रोज़मर्रा संस्करण **(**मूल के क़रीब रखा गया **—** संख्याएँ ठीक वैसी ही रखी गई हैं **):** एक मेट्रो स्टेशन के बाहर व्हीलचेयर-सुलभ रैंप 40 सेमी के क्षैतिज आधार पर 30 सेमी ऊँचा उठता है। उसका यांत्रिक लाभ क्या है?

समकोण त्रिभुज गुणधर्म से : $L^2 = 30^2 + 40^2 = 900 + 1600 = 2500$, इसलिए $L =$

50 सेमी

यांत्रिक लाभ = L/h = 50 सेमी / 30 सेमी = **1.67**

7.6.3 उत्तोलक (Lever)

उत्तोलक एक कठोर छड़ है जो आलंब **(fulcrum)** नामक एक स्थिर बिंदु के चारों ओर घूमती है। इसके तीन हिस्से: आलंब, भार (पार पाने वाला बल), और प्रयास (लगाया गया बल)। आलंब से भार की दूरी भार**-भुजा (load arm)** है; आलंब से प्रयास की दूरी प्रयास**-भुजा (effort arm)** है।

□ गतिविधि — नए सिरे से: रबर से स्टेपलर उठाना

मूल पुस्तक संस्करण**:** एक 30 सेमी की स्केल को एक पेंसिल के ऊपर संतुलित कीजिए, एक स्टेपलर एक सिरे के पास और रबर दूसरे सिरे के पास रखकर, स्टेपलर को कहीं कम बल से उठाने के लिए।

रोज़मर्रा संस्करण**:** एक 30 सेमी की रूलर, एक पेंसिल, एक फ़ोन चार्जर ("भारी भार" के रूप में), और कुछ रबर ("हल्के प्रयास" के रूप में) लीजिए। रूलर को पेंसिल के ऊपर एक सिरे के पास टिकाइए, चार्जर छोटे सिरे पर रखते हुए। लंबे सिरे पर तब तक रबर जोड़िए जब तक वह चार्जर को बस उठा न दे। आप पाएँगे कि दूर सिरे पर एक छोटा प्रयास आलंब के पास एक कहीं भारी भार उठा देता है।

अगर एक सिरे पर लगाया गया एक छोटा बल F_1 बड़ी दूरी d_1 तक चलता है, जबकि दूसरे सिरे पर भार पर लगाया गया एक बड़ा बल F_2 छोटी दूरी d_2 तक चलता है, तो चूँकि उत्तोलक से होकर स्थानांतरित कार्य संतुलित होना चाहिए (समी. 7.1):

$\mathbf{F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2}$ (समी. 7.14)

□ गतिविधि — नए सिरे से: सब्ज़ी वाली का तराज़ू

मूल पुस्तक संस्करण**:** एक स्केल को उसके मध्यबिंदु पर एक धागे से लटकाइए, हर सिरे पर पानों के रूप में काग़ज़ के कप बाँधकर, और तराज़ू के संतुलन का पता लगाने के लिए सिक्कों का वज़न के रूप में उपयोग कीजिए।

रोज़मर्रा संस्करण**:** अपनी स्थानीय सब्ज़ी मंडी की विक्रेता के तराज़ू को याद कीजिए — यह अपने शुद्धतम रूप में एक उत्तोलक है। एक बनाइए: एक लंबी रूलर को उसके केंद्र (आलंब) पर एक धागे से लटकाइए, और हर सिरे पर पानों के रूप में एक-एक काग़ज़ का कप बाँधिए। हर पान में 1 सिक्का रखिए — यह संतुलित हो जाता है। अब एक तरफ़ 2 सिक्के रखिए; बीम झुक जाता है। उस भारी पान को केंद्र के पास तब तक सरकाइए जब तक वह फिर संतुलित न हो जाए, और केंद्र से दूरी दर्ज कीजिए। 4 और फिर 8 सिक्कों के साथ दोहराइए।

आप पाएँगे कि बीम तब संतुलित होता है जब: $n_1 \times L_1 = n_2 \times L_2$ — यानी,

प्रयास × प्रयास-भुजा = भार × भार-भुजा (समी. 7.15)

> परिभाषा
>
> उत्तोलक का यांत्रिक लाभ = भार / प्रयास = प्रयास-भुजा / भार-भुजा *(समी. 7.16)*

भार-भुजा के सापेक्ष प्रयास-भुजा बढ़ाना एक उत्तोलक को एक छोटे लगाए गए बल को भार पर एक कहीं बड़े बल में गुणा करने देता है — हालाँकि हमेशा की तरह,

प्रयास को उसी अनुपात में एक बड़ी दूरी तय करनी पड़ती है, इसलिए कुल किया गया काम वही रहता है।

□ हल किया गया उदाहरण — नए सिरे से : पार्क के सी-सॉ को संतुलित करना

मूल पुस्तक संस्करण : सीट A, B, D, E और आलंब C (AC = EC = 2 मी, BC = DC = 1 मी) वाले एक सी-सॉ पर, संतुलन के लिए 15 किग्रा और 30 किग्रा के बच्चे को कहाँ बैठना चाहिए?

15 किग्रा का बच्चा A (आलंब C से 2 मी) पर बैठता है। मान लीजिए 30 किग्रा का बच्चा दूरी L पर बैठता है।

15 kg × 2 मी = 30 kg × L ⟹ **L = 1** मी — इसलिए 30 किग्रा के बच्चे को सीट D पर बैठना चाहिए।

उत्तोलक प्रयास, आलंब, और भार की सापेक्ष स्थितियों के आधार पर तीन वर्गों में बँटते हैं:

□ रोज़मर्रा से जुड़ाव : चम्मच से पेंट के डिब्बे का ढक्कन खोलना

वर्ग	व्यवस्था	रोज़मर्रा के भारतीय उदाहरण
वर्ग I	आलंब भार और प्रयास के बीच में	कैंची, चिमटा, संडासी, सब्बल, सी-सॉ, तराज़ू
वर्ग II	भार आलंब और प्रयास के बीच में	ठेला, बॉटल ओपनर, सरौता (सुपारी काटने के लिए)
वर्ग III	प्रयास आलंब और भार के बीच में	चिमटी, झाड़ू, मछली पकड़ने की छड़ी, चिप्पू, क्रिकेट बैट का झटका

क्या आपने कभी ग़ौर किया है कि अटके हुए ढक्कन को अकेले उँगलियों की बजाय चम्मच के लंबे हैंडल को उत्तोलक की तरह इस्तेमाल करके उठाना कितना आसान है? आप भार-भुजा के सापेक्ष अपनी प्रयास-भुजा बढ़ा रहे हैं, ठीक वैसे ही यांत्रिक लाभ पाते हुए जैसा समी. 7.16 बताती है। यही विचार समझाता है कि जब कोई भारी वस्तु काटना मुश्किल हो तो आप उसे कैंची के आलंब के पास (एक छोटी भार-भुजा) क्यों धकेलते हैं — इससे उस बिंदु पर प्रयास-भुजा और भार-भुजा का अनुपात बढ़ जाता है, काटने के बल को गुणा करते हुए।

वैज्ञानिक से मिलें : सर एम. विश्वेश्वरैया (1861–1962)

भारत के सबसे प्रतिष्ठित इंजीनियरों में से एक, सर मोक्षगुंडम विश्वेश्वरैया ने कर्नाटक के कृष्णा राजा सागर (KRS) बाँध के लिए स्वचालित बाढ़-द्वार डिज़ाइन किए और देश भर में बाढ़-सुरक्षा व सिंचाई की प्रणालियों की अगुवाई की — यह इंजीनियरिंग ठीक इसी अध्याय के यांत्रिक सिद्धांतों पर बनी है, बहुत बड़े पैमाने पर लागू की गई। उनका जन्मदिन, 15 सितंबर, भारत में इंजीनियर दिवस के रूप में मनाया जाता है, भौतिकी को सार्वजनिक बुनियादी ढाँचे में बदलने की उनकी विरासत का सम्मान करते हुए।

विज्ञान और समाज को जोड़ते हुए : हिमालय की घराट

उत्तराखंड और हिमाचल प्रदेश के पहाड़ी क्षेत्रों में , घराट या पनचक्की नाम की पारंपरिक पनचक्कियाँ आज भी सिर्फ़ गुरुत्वाकर्षण का उपयोग करके अनाज पीसती हैं। पानी एक नाली के ऊपर स्थितिज ऊर्जा के साथ शुरू होता है ; जैसे -जैसे यह किसी पाइप से नीचे दौड़ता है , वह स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में बदलती है , जो एक शाफ़्ट से जुड़े पहिये को घुमाती है , जिसके ऊपर एक पिसाई का पत्थर लगा होता है। आधुनिक जल-विद्युत बाँध बिल्कुल यही रूपांतरण उपयोग करते हैं — किसी जलाशय में संचित गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा से , गिरते पानी की गतिज ऊर्जा तक , बिजली तक — बस कहीं बड़े पैमाने पर।

आप जिन ज़्यादातर मशीनों से मिलते हैं — साइकिल से लेकर निर्माण -क्रेन तक — वे इन्हीं सरल मशीनों के संयोजन हैं जो साथ काम करती हैं। मशीनें कभी ऊर्जा नहीं बनातीं ; वे सिर्फ़ हमें उसे ज़्यादा सुविधाजनक ढंग से लगाने में मदद करती हैं , दूरी की क़ीमत पर बल की दिशा बदलते हुए , यांत्रिक ऊर्जा के संरक्षण का कभी उल्लंघन किए बिना।

अध्याय सारांश

अवधारणा	मुख्य विचार	रोज़मर्रा का उदाहरण
कार्य	$W = F \times s$; कार्य सिर्फ़ बल की दिशा में होता है	आटे की बोरी उठाना ; अटकी दीवार को धकेलने में शून्य कार्य
कार्य -ऊर्जा प्रमेय	किसी वस्तु पर किया गया कार्य = उसकी ऊर्जा में बदलाव	गेंदबाज़ के थ्रो से गेंद को ऊर्जा मिलना
ऊर्जा के रूप	यांत्रिक , ऊष्मीय , प्रकाश , ध्वनि , विद्युत , नाभिकीय , रासायनिक	फ़ोन चार्ज करना : रासायनिक → विद्युत → प्रकाश /ध्वनि
गतिज ऊर्जा	$K = \frac{1}{2}mv^2$; गति दोगुनी होने पर चार गुनी होती है	गति दोगुनी होने पर दुपहिये की टक्कर -ऊर्जा चार गुनी
स्थितिज ऊर्जा	$U = mgh$; खिंची /दबी वस्तुओं में भी संचित	गुलेल का खिंचा बैंड ; गिरने को तैयार नारियल
यांत्रिक ऊर्जा का संरक्षण	घर्षण के बिना KE + PE स्थिर रहती है	पार्क का झूला लगभग अपनी शुरुआती ऊँचाई तक वापस उठना
शक्ति	$P = W/t$; SI इकाई वाट (1 hp = 746 W)	छत का '1 HP' पानी का पंप ; ई-स्कूटर की मोटर वाट में
सरल मशीनें	यांत्रिक लाभ = भार /प्रयास ; बल बदलती हैं , कुल काम नहीं	कुएँ की घिरनी , घाट की सड़क का रैंप , सब्ज़ी वाली का तराज़ू

□ दोहराएँ , चिंतन करें , परिष्कृत करें — अभ्यास

बुनियादी स्मरण

1. एक दोस्त कहता है , "मैंने हमारे अटके स्कूटर को दस मिनट धकेला और बिल्कुल कोई काम नहीं किया , क्योंकि वह कभी हिला ही नहीं। " कार्य की वैज्ञानिक

परिभाषा का उपयोग करते हुए, समझाइए कि क्या यह कथन सही है, और फिर भी दोस्त इतना थका हुआ क्यों महसूस करता है।

2. कार्य-ऊर्जा प्रमेय अपने शब्दों में बताइए, और कार्य, गतिज ऊर्जा, और स्थितिज ऊर्जा द्वारा साझा की गई SI इकाई का नाम बताइए।
3. यांत्रिक लाभ की परिभाषा दीजिए। एक झंडा उठाने के लिए उपयोग होने वाली स्थिर घिरनी का यांत्रिक लाभ क्या है, और क्यों?

लागू करें और सोचें

1. (संख्यात्मक) एक इलेक्ट्रिक स्कूटर, अपने सवार के साथ, कुल 100 किग्रा द्रव्यमान रखता है। यह एक समतल सड़क पर 5 सेकंड में विराम से 36 किमी/घंटा तक त्वरित होता है। गणना कीजिए (i) उसकी अंतिम गतिज ऊर्जा, और (ii) इस त्वरण के दौरान मोटर द्वारा दी गई औसत शक्ति।
2. एक राजमिस्त्री 40 किग्रा के सीमेंट के बैग को उठाने के लिए 2 के यांत्रिक लाभ वाली एक चल-घिरनी प्रणाली का उपयोग करता है। $g = 10$ मी/से^{2} लेते हुए, राजमिस्त्री को कितना प्रयास लगाना होगा? अगर इसके बजाय वही बैग एक स्थिर घिरनी से उठाया जाए, तो ज़रूरी प्रयास कैसे बदलेगा — और राजमिस्त्री जिस दिशा में खींचता है उसमें क्या बदलेगा?
3. एक सोशल मीडिया पोस्ट दावा करती है कि नया आविष्कार किया गया एक 'मुफ़्त ऊर्जा पहिया' हमेशा के लिए घूम सकता है और बिना किसी ईंधन के लगातार एक घर को शक्ति दे सकता है। इस अध्याय से कार्य, ऊर्जा, और यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण के विचारों का उपयोग करते हुए, समझाइए कि इस दावे में वैज्ञानिक रूप से क्या ग़लत है।

रचनात्मक डिज़ाइन चुनौतियाँ

1. पेन **-**रॉकेट लॉन्चर**:** एक पुराने पेन के दोनों सिरे हटाइए ताकि रीफ़िल बैरल में स्वतंत्र रूप से सरक सके। पेन के ढक्कन को बैरल की तरफ़ लगाइए और उसकी क्लिप में रबर बैंड बाँधिए; रबर बैंड के मुक्त सिरे को एक सेफ़्टी पिन से रीफ़िल से जोड़िए। रबर बैंड खींचकर और छोड़कर रीफ़िल लॉन्च कीजिए, प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा को गतिज ऊर्जा में बदलते हुए। कम से कम तीन अलग-अलग खिंचाव के साथ परीक्षण कीजिए और हर बार तय की गई दूरी दर्ज कीजिए। क्या खिंचाव और दूरी के बीच कोई स्पष्ट संबंध है? अपना डेटा एक सरल तालिका या ग्राफ़ के रूप में प्रस्तुत कीजिए।
2. अपनी इमारत के लिए एक रैंप डिज़ाइन कीजिए**:** आपका स्कूल या हाउसिंग सोसाइटी 3 सीढ़ियों (हर एक 15 सेमी ऊँची) की जगह एक रैंप लगाकर प्रवेश द्वार को ज़्यादा व्हीलचेयर-सुलभ बनाना चाहती है। एक ऐसी रैंप-लंबाई तय कीजिए जो यांत्रिक लाभ को उचित रूप से ऊँचा रखे, अपने डिज़ाइन का यांत्रिक लाभ निकालिए, और अपना तर्क समझाइए।
3. एक असली समस्या के लिए मशीन बनाइए**:** भारतीय घरों या खेतों के किसी वाक़ई रोज़मर्रा के काम के बारे में सोचिए जो अभी भी शारीरिक रूप से मुश्किल है (उदाहरण के लिए: नीची टंकी से पानी उठाना, किसी बुज़ुर्ग रिश्तेदार को सीढ़ियाँ चढ़ने में मदद करना, या खेत से गाड़ी तक उपज ढोना)। इसे आसान बनाने के लिए एक सरल मशीन या मशीनों का संयोजन (उत्तोलक, घिरनी, आनत तल) डिज़ाइन कीजिए। अपना विचार स्केच कीजिए, प्रयास और भार पहचानिए, और उसका यांत्रिक लाभ अनुमानित कीजिए।
4. **AI** रचनात्मक चिंगारी **—** ऊर्जा ऑडिट**:** किसी फ़िटनेस-ट्रैकर ऐप या मोटे अनुमान का उपयोग करते हुए, अपनी कक्षा या अपार्टमेंट तक एक बार सीढ़ियाँ चढ़ने में आप जो लगभग काम करते हैं (जूल में) उसकी गणना कीजिए। फिर अनुमान लगाइए कि एक समोसे (~250 kcal ≈ 1,046,000 J) की ऊर्जा "जलाने" के लिए आपको यह चढ़ाई कितनी बार दोहरानी पड़ेगी। अपनी मान्यताएँ और हल स्पष्ट रूप से दिखाइए।

और आगे की यात्रा — गहराई में जाना

चुनौती **A:** अपनी ख़ुद की सरल मशीन बनाइए

आसानी से उपलब्ध सामग्री का उपयोग करते हुए — गत्ता, लकड़ी की रूलर, पेंसिल या बोल्ट (आलंब के रूप में), धागा, छोटी घिरनियाँ या साथ चिपकाए गए दो बोतल के ढक्कन, और वज़न के लिए काग़ज़ के कप — एक उत्तोलक, एक घिरनी प्रणाली, एक आनत तल, या इनका संयोजन बनाइए। अपने मॉडल का उपयोग करके एक छोटा भार उठाइए या हिलाइए, प्रयास और भार को स्प्रिंग तराज़ू या तात्कालिक वज़न से मापिए, और उसका असली यांत्रिक लाभ निकालिए। फिर इसकी तुलना उस सैद्धांतिक सूत्र (समी. 7.13 या 7.16) से कीजिए जिसकी वह भविष्यवाणी करता है। अगर वे बिल्कुल मेल न खाएँ, तो आपको लगता है कि कौन-सा असली दुनिया का कारक (संकेत: वह चीज़ जिसे इस पूरे अध्याय में हमसे "नज़रअंदाज़" करने को कहा गया है) उस अंतर को समझाता है?

चुनौती **B:** इसका अनुकरण **(simulate)** कीजिए

PhET के Energy Skate Park, Pendulum Lab, या Masses and Springs जैसे इंटरैक्टिव सिमुलेशन खोजिए (phet.colorado.edu पर मुफ़्त में उपलब्ध)। द्रव्यमान, ऊँचाई, और घर्षण जैसे मापदंड बदलिए, और देखिए कि गतिज व स्थितिज ऊर्जा वास्तविक समय में कैसे अदल-बदल होती हैं। अपने अन्वेषण से एक आश्चर्यजनक अवलोकन का वर्णन करते हुए एक छोटा नोट (150–200 शब्द) लिखिए और उसे यांत्रिक ऊर्जा के संरक्षण से जोड़िए।

चुनौती **C:** डार्क एनर्जी का रहस्य

वैज्ञानिक लंबे समय से जानते हैं कि ब्रह्मांड फैल रहा है — और, उल्लेखनीय रूप से, यह फैलाव तेज़ हो रहा है। इसे समझाने के लिए, भौतिक विज्ञानियों ने "डार्क एनर्जी" नाम की एक रहस्यमयी ऊर्जा प्रस्तावित की है, जिसे (जहाँ तक हम जानते हैं) इस अध्याय में पढ़े गए ऊर्जा के किसी भी और रूप के साथ अदला-बदली नहीं किया जा सकता। शोध कीजिए कि डार्क एनर्जी को वर्तमान में क्या माना जाता है, और एक छोटा चिंतन लिखिए: क्या इसका अस्तित्व खंड 7.4.3 में सीखे यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण को चुनौती देता है, या यह पूरी तरह उससे बाहर के किसी पैमाने और नियमों के सेट पर काम करता है? अगर आप इस समस्या का अध्ययन करने वाले एक ब्रह्मांडविज्ञानी (cosmologist) बनें, तो आप किन सवालों के जवाब चाहेंगे?

अन्वेषण शुभ हो! हर उत्तोलक जो आप खींचते हैं, हर रैंप जो आप चढ़ते हैं, और हर घिरनी जो आप घुमाते हैं — भौतिकी चुपचाप आपके लिए काम कर रही है ⚙